

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.358:640.522.2(045)

О.Б. ІВАНЕЦЬ, В.Л. КУЧЕРЕНКО, М.В. АРХИРЕЙ, О.В. БУЛИГІНА

Національний авіаційний університет, м. Київ

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАКЛАДАХ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

**Анотація.** В даній статті запропоновано модель системи візуального моніторингу за життєво важливими показниками пацієнта, який знаходиться на стаціонарному лікуванні. Основну увагу акцентовано на дослідженні надійності передачі даних з використанням бездротових мережевих технологій та розробленню інформативного інтерфейсу для блоку моніторингу показників життєдіяльності, що забезпечує більшу мобільність пацієнтам під час госпіталізації. Побудовано імітаційну модель бездротового біомедичного датчика, основу якого складають блок живлення, блок зв'язку, блок обробки, блок розпізнавання. Запропонована система має можливість проводити моніторинг великої кількості пацієнтів і забезпечує подальше удосконалення цілісного догляду за хворими.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, візуальний моніторинг, інтерфейс, імітаційна модель, показники життєдіяльності пацієнта.

**Аннотация.** В данной статье предложена модель системы визуального мониторинга по жизненно важным показателям пациента, который находится на стационарном лечении. Основное внимание акцентировано на исследовании надежности передачи данных с использованием беспроводных сетевых технологий и разрабатыванию информативного интерфейса для блока мониторинга показателей жизнедеятельности, которая обеспечивает большую мобильность пациентам во время госпитализации. Построена имитационная модель беспроводного биомедицинского датчика, основу которого составляют блок питания, блок связи, блок обработки, блок распознавания. Предложенная система имеет возможность проводить мониторинг большого количества пациентов и обеспечивает дальнейшее усовершенствование целостного присмотра за больными.

**Ключевые слова:** информационная технология, визуальный мониторинг, интерфейс, имитационная модель, показатели жизнедеятельности пациента

**Abstract.** In this article an offer model of the system of the visual monitoring is on the vitally important indexes of patient that is on stationary treatment. Basic attention is accented on research of reliability of communication of data with the use of wireless network technologies and to development of informing interface for the block of monitoring of indexes of vital functions that provides greater mobility to the patients during hospitalization. The simulation model of wireless biomedical sensor, basis of that is made by the power module, block of connection, block of treatment, block of recognition, is built. An offer system has the opportunity to conduct monitoring of plenty of patients and provides the further improvement of integral supervision upon patients.

**Keywords:** information technology, visual monitoring, interface, simulation model, indexes of vital functions of patient.

#### Вступ

Розробка медичних інформаційних систем в світі орієнтована на стандартизацію і обмін медичними даними між різними ланками системи охорони здоров'я. У більшості розвинених країн впроваджуються національні програми інформатизації охорони здоров'я, які направлені на об'єднання медичних закладів в одну мережу. В рамках єдиного інформаційного простору створюються загальносистемні сервіси, що забезпечують: облік та ідентифікацію пацієнтів і медичного персоналу, персоніфікований облік наданої медичної допомоги, ведення електронної медичної картки і спеціалізованих реєстрів за різними нозологіями і категоріями громадян на її основі, можливість направити пацієнта на проведення лабораторно-діагностичних обстежень та отримання медичної допомоги, можливість автоматичної розсилки повідомлень і попереджень за результатами отриманих аналізів і відхиленнях їх параметрів від норми, можливість використання електронних рецептів, можливість аналітичної обробки первинних даних, можливість централізованого збору і обробки медичної статистики і проведення телемедичних консультацій [1,2].

Широке впровадження інформаційних технологій у поєднанні з організаційними змінами в медичних закладах дозволить досягнути суттєвого підвищення ефективності роботи закладів охорони здоров'я, підвищити якість лікування та діагностики.

#### Актуальність

Сьогодні використовується широкий спектр технологічно складного обладнання, щоб забезпечити детальні вимірювання фізіологічного стану кожного пацієнта. Це було досягнуто, в основному, завдяки застосуванню віддаленого моніторингу пацієнтів (ВМП). Однак, незважаючи на успіх, розробка системи взаємодії вимірювальних приладів розвивається в досить повільному темпі. ВМП розраховані на стаціонар та не можуть замінити функції медсестри. Проте, може бути використані додатково і підвищити ефективність спостереження за пацієнтами. ВМП система буде сприйматися більш зручною і економічно ефективною, ніж традиційний нагляд, так як вона дозволяє медичним організаціям контролювати стан, і керувати віддалено в той же час під наглядом професіоналів.

Впровадження технологій віддаленого моніторингу пацієнтів може не тільки поліпшити медичні послуги, а й зменшити кількість відвідувань медичних сестер на 30-50%, а це дуже ефективно з точки зору економічних витрат і витрат часу. Крім того, раннє виявлення порушень у стаціонарних хворих, може покращити одужання і зменшити рівень смертності під час госпіталізації. Раннє виявлення

порушень життєво важливих функцій є невід’ємною складовою якісного та сучасного медичного обслуговування.

### Мета і задачі дослідження

Метою статті є показати шляхи забезпечення моніторингу стану здоров’я пацієнтів, які знаходяться на стаціонарному лікуванні. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання: розробити та змодельовати прототип системи віддаленого моніторингу пацієнтів для підвищення якості обслуговування в закладах охорони здоров’я, що може бути реалізовано за рахунок бездротових технологій ZigBee і Wi-Fi, які використовуються для передачі життєво важливих ознак.

### Основна частина

Проект системи візуального моніторингу (ВМ) повинен ґрунтуватись на конкретних вимогах для моніторингу пацієнтів. Хоча багато зусиль вже були зроблені для проектування бездротових систем моніторингу, але більшість систем є або непридатними або мають безліч обмежень. Наприклад, деякі системи аналізують життєво важливі показники по місцю. Коли у пацієнта виникає скарга на своє здоров’я він звертається до свого медичного персоналу з проханням про допомогу. При цьому вигода від централізованого та автоматизованого контролю, полягає в тому, що стан всіх пацієнтів буде під доглядом, а у мед персоналу створиться більш повне уявлення про скарги, для вироблення ефективних методів лікування. Використання бездротових технологій забезпечує більшу мобільність пацієнтам під час госпіталізації. Фізіологічний моніторинг є невід’ємною частиною управління та догляду за хворими в стаціонарі. Мета полягає у виявленні та реєстрації життєво важливих змін, так як це може бути корисним у запобіганні погіршення стану. Частота проведених спостережень може відрізнятися від тяжкості хворого. Деякі основні вимоги винесені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні вимоги по фізіологічному моніторингу в стаціонарі

Пов'язаних з пацієнтом	Життєво важливі показники
	Частота моніторингу
	Питання комфорт і зручності пацієнтів
Зв'язану з системою охорони здоров'я	Навантаження і кількість пацієнтів на диспетчерський пункт
	Питання відповідальності та узгодженості
	Безпека та конфіденційність інформації про пацієнтів

В клінічних рекомендаціях вказується, які життєво важливі ознаки повинні бути враховані в первісній оцінці і в рамках регулярного моніторингу:

- частота серцевих скорочень;
- сатурація крові киснем;
- систолічний артеріальний тиск;
- частота дихання;
- температура тіла.

Клінічні рекомендації також регламентують періодичність контролю. Принаймні кожні 12 годин, якщо тільки не було прийнято рішення, щоб зменшити цю частоту для окремого пацієнта. Лікарні ввели свій власний регламент для визначення частоти моніторингу життєво важливих функцій.

**Основні компоненти системи візуального моніторингу.** Запропонована система складається з трьох основних компонентів: системи прийому даних (DAS), передачі і центральний блок управління. Рис. 1 демонструє структуру запропонованої системи.



Рисунок 1 – Структура запропонованої системи ВМП

**Система збору даних.** Функція DAS (рис. 2) призначена для отримання життєво важливих даних від пацієнтів. Бездротові датчики забезпечують більший комфорт і мобільність пацієнта. На кожного пацієнта встановлено п'ять датчиків, які здатні виміряти життєво важливі функції (в тому числі частоту серцевих скорочень, насичення киснем, артеріальний тиск, частоту дихання і температуру). Датчики з бездротовим зв'язком ZigBee. Датчики, що використовуються в системах збору даних, як правило,

провідні, що обмежує мобільність і комфорт пацієнтів. Вони можуть бути використані в мережі бездротових датчиків, щоб підтримувати контроль кількох параметрів окремого пацієнта. Бездротова мережа датчиків може бути заснована на різних технологіях, наприклад, Bluetooth і ZigBee технології. Bluetooth-мережі засновані на зірковій топології. Планшет або смартфон можна використовувати як центральний пристрій в Bluetooth WPAN та збирають дані з датчиків, прикріплених до пацієнта і відправляє дані медичним працівникам. З урахуванням високого енергоспоживання Bluetooth має й інші недоліки. Bluetooth WPAN може підтримувати тільки до семи активних вузлів для передачі. Це обмежує кількість датчиків для багато параметричного моніторингу. Bluetooth WPAN піддається будь-яким перешкодам від інших WPAN Bluetooth і бездротових систем, що працюють на частоті 2,4 ГГц. Для відповіді на очевидну необхідність проведення постійного моніторингу життєво важливих функцій пацієнтів всередині одного відділення, WPAN повинен бути з низьким споживанням, простою архітектурою і здатністю справлятися з кількома датчиками. Мережа датчиків ZigBee з низьким енергоспоживанням може задовольнити ці вимоги. Технологія ZigBee відповідає стандарту IEEE 802.15.4. Її перевагами при використанні у ВМП є такі конструктивні особливості. Масштабованість: ZigBee мережа здатна підтримувати до 65534 вузлів. Координатор (головний вузол) може керувати до 255 активних вузлів одночасно. Ємність передачі даних: ZigBee забезпечує максимальні швидкості передачі даних на 250 кбіт в діапазоні 2,4 ГГц, 40 кбіт в полосі 915 МГц і 20 кбіт в полосі 868 МГц. Цього достатньо для передачі життєво важливих показників пацієнта, які зазвичай вимагають кілька Кбіт, наприклад, кров'яний тиск та ЕКГ вимагають 1,2 кбіт та 6 кбіт відповідно. Вартість: порівняно з Bluetooth, ZigBee може розглядатися як економічно ефективне рішення, з точки зору реалізації. Рішення на основі ZigBee, для бездротової мережі датчиків були реалізовані в деяких західних проектах. Розглядалася схема, де в одній палаті всі датчики опитувалися одним головним вузлом. Головний вузол пов'язаний з ПК через кабель RS232. На комп'ютері оброблялися показники зі всіх датчиків і заносилися в базу даних. Медичний персонал може потім отримати дані повторно, віддалено від локального ПК. Така система може бути легко розроблена за рахунок інтеграції в мережі ZigBee з існуючою Ethernet мережею лікарні. Локальна мережа використовується для передачі життєво важливих функцій у пацієнтів до блоку центрального моніторингу. Блок центрального моніторингу у контрольному пункті використовується для відображення, аналізу та зберігання даних. Показники життєдіяльності супроводжуються ID пацієнта, щоб полегшити цілісність даних. Вони також шифруються для забезпечення безпеки. Запропонована система має можливість проводити моніторинг великої кількості пацієнтів і забезпечує подальше удосконалення цілісного догляду за хворими. Проте система, що оснований на одній мережі WPAN ZigBee, має обмеження. Наприклад, проблемою може бути відстань між датчиками і головним вузлом. Типовий діапазон передачі для ZigBee становить 10 метрів. Пацієнти, що знаходяться за межами цієї зони покриття, не можуть контролюватися. 10 метрів цілком достатньо для моніторингу чотирьох пацієнтів, що знаходяться в палаті. Тим не менш, деякі палати можуть бути більше, і вміщувати більше пацієнтів.



Рисунок 2 – Структурна схема прийому даних DAS

Головний вузол не зможе підтримувати передачу даних всіх датчиків, підключених до всіх пацієнтів. Крім того, головний вузол в WPAN, зазвичай з'єднується з використанням одного каналу. Максимальна пропускна здатність становить 250 кбіт/с (142,83кбіт/с), що є загальним для всіх датчиків в WPAN. Крім того, передача даних з великої кількості датчиків, що використовують один канал формують черги, а значить і затримки. Пропонується використовувати кілька мереж ZigBee-WPAN в цьому проекті. Різниця в кількості головних вузлів. В одному WPAN тільки один головний вузол використовується для цілої мережі. У той час як у підході з кількома WPAN, головний вузол використовується в кожній WPAN для кожного пацієнта. Датчики всередині кожного WPAN збирають життєво важливі ознаки і передають їх до головного вузла. Головний вузол збирає дані, отримані в єдиний пакет для підвищення ефективності і передає його по мережі до блоку управління, контролю і

зберігання. При такому підході, через коротку відстань між пристроями, передані дані будуть отримані за допомогою головного вузла з достатньою силою сигналу, зменшуючи можливість помилок і втрати даних. Для зменшення перешкод і уникнення перекриття частоти мереж WPAN, зокрема, поруч один з одним, будуть використовуватись різні канали передачі для зв'язку між датчиками і головним вузлом. Цьому сприяє механізм розподілу каналів ZigBee. Крім того, головний вузол взаємодіє тільки з датчиками у складі однієї WPAN, тим самим зменшуючи обсяг трафіку, і усуваючи затримки. Головний вузол працює окремо на пацієнта. Головний вузол може мати приліжкове розташування. Він контролює зв'язок 5-ти датчиків усередині WPAN.

*Система передачі даних.* Система передачі даних використовується для передачі життєво важливих функцій по всіх DASS з блоком управління через локальну мережу для контролю. У запропонованій схемі використовується локальна мережа на основі Ethernet. Система передачі даних працює наступним чином: в палаті стаціонару через систему передачі даних життєво-важливі параметри про пацієнта передаються через відповідного координатора до точки доступу, яка знаходиться в палаті, яка в свою чергу може передавати данні передаються через точку доступу яка знаходиться наприклад на поверсі через комутатор до серверу та блоку моніторингу. Медсестра в центральному пункті управління може контролювати стан пацієнтів в режимі реального часу. Уповноважений лікар може також отримати доступ до цієї інформації через систему бездротової локальної мережі. Локальні мережі Ethernet не є детермінованими і їх ефективність може залежати від числа активних пристроїв зв'язку, а також обсягу переданих даних.

*Центральний блок керування.* Центр для обробки життєво-важливих параметрів призначений для аналізу, відображення та зберігання даних. Життєво важливі ознаки пацієнтів, отримані від DAS в графічній формі, відображаються на терміналі. Дані аналізуються за шаблоном змін і виявляються аномалії. Це може допомогти запобігти подальшому погіршенню стану пацієнта. При порушенні відбувається оповіщення. Основною перевагою цього блоку буде можливість відстежувати стан пацієнта постійно, особливо в нічний час, не порушуючи сон. Система так само повинна надавати віддалений доступ через глобальну мережу Інтернет при значному віддаленні від лікарні. Щоб допомогти медичному персоналу легко виявити пацієнтів, які потребують уваги, вводиться система 3-х кольорового відображення: від зеленого, жовтого і до червоного, що відповідає їх станам, від позитивного до критичного. Аномалії і швидкі зміни життєво важливих показників. можуть бути ознаками фізіологічного руйнування. Вони можуть бути виявлені за допомогою використання нормованих границь показників життєдіяльності, які характеризуються верхнім і нижнім порогом (наприклад, частоти серцевих скорочень). Якщо вимірювання життєво важливих ознак виходить за межі безпечного діапазону, результат вимірювання може розглядатися як аномалія. У пропонованому блоці візуального моніторингу життєдіяльності, безпечний діапазон визначається консультацією з персоналом лікарні. Однак, через велике розмаїття пацієнтів у стаціонарі, необхідні подальші дослідження для розробки алгоритму виявлення аномалій стану хворого за його показниками.

Стан 1 (зелений): Припустимо, що кожен пацієнт перебуває у стабільному стані, їх значки будуть відображатися зеленим кольором.

Стан 2 (жовтий): Як тільки програмне забезпечення для моніторингу виявляє аномалії в стані пацієнта, значок змінить колір на жовтий і почне блимати разом з попереджувальним сигналом, для звернення уваги персоналу. Сестринський персонал буде попереджений, щоб надати допомогу пацієнтові.

Стан 3 (червоний - тривога): Аномалія визначається за допомогою програмного забезпечення моніторингу, яка розглядається як важка і вимагає термінової допомоги. Робиться запит, щоб попередити бригаду лікарів.

*Інтервал передачі даних.* Потрібно відзначити, що пацієнти можуть потребувати різних рівнів медичного обслуговування та уваги. Деякі пацієнти можуть вимагати частий контроль, в той час як інші, можливо, менше. Отже, часта передача життєво важливих даних, тих хто перебувають у стабільному стані, може створити непотрібне збільшення трафіку мережі. Однак, довгі інтервали для пацієнтів, які потребують більшої уваги, можуть зробити процес контролю неефективним. Тому необхідно мати можливість змінювати інтервал за місцем або віддалено з центрального пункту. Це необхідно, оскільки умови пацієнтів можуть змінюватися, як результат необхідності збільшити інтенсивного контролю.

**Імітаційна модель системи віддаленого моніторингу пацієнтів.** Прототип ВМП призначений, щоб продемонструвати функціональні можливості запропонованої системи ВМП. Вона складається з трьох основних компонентів: системи збору даних (DAS), передачі даних (на основі локальної мережі) і центральним пунктом DAS, реалізується на базі ZigBee. Вона включає в себе конструкцію ZigBee на основі мережі датчиків (WPAN) і експериментів на основі прототипу. Прототип диспетчерського пункту був розроблений для графічного відображення в реальному часі життєво важливих показників. Прототип системи збору даних DAS. DAS заснована на топології зірка з використанням 5-ти біологічних датчиків. Датчики несуть відповідальність за отримання життєво важливих ознак, такі як частота серцевих скорочень, частоту дихання і так далі, відправляючи їх в головний вузол системи DAS. В даний час

ZigBeeбіомедичні датчики масово не доступні на ринку. Був розроблений пристрій«ZB»спеіально для прототипу.

**Проектування імітації бездротового біомедичного датчика (ZB).** Дизайн ZB заснований на архітектурі типового датчика, який складається з чотирьох основних блоків: блок живлення, блок зв'язку, блок обробки, блок розпізнавання. Блок живлення складається з акумулятора і dc-dc перетворювача постійного струму для MCU і комунікаційного блоку зв'язку XBee. XBee датчики Series2 можуть бути налаштовані як кінцеві пристрої ZigBee (ZigBee пристрій може бути двох основних типів, кінцевий пристрій і головний). Блок обробки складається з: аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролеру і пам'яті. Цей блок використовується для прийому сигналів від блоку вимірювання, для обробки даних за допомогою програмного забезпечення, збереженого в пам'яті. Блок вимірювального елемента залежить від застосування. У цьому проекті, він імітує біомедичний датчик для вимірювання найважливіших ознак. ZB також має три додаткових блок для місцевого індикатора стану, локальний дисплей і регулювання інтервалу передачі. Рис.3 показує архітектуру ZB. Для передачі даних в бездротовій середовищі, модуль передачі ZigBee інтегрований з основною платою. Модуль ZigBee (показано на правій частині рис.) є важливим компонентом для блоку зв'язку. DigiXBee для підтримки зв'язку через ZB використовується друга серія модуля DigiXBee. Таблиця 2.показує характеристики модуля.

Таблиця 2 –Технічні характеристики серії модуля 2 ZigBeeXBee

Полоса частот	2,4 ГГц
Швидкість передачі даних	250 Кбіт / сек
Дальність передачі в приміщенні	<40m
Потужність передавача	1,25 мВт (+ 1dBm)
Чутливість приймача	-95 ДБм
Перевірка автентичності	PAN ID, 64-бітний IEEE MAC
Шифрування	128-бітний AES
Підтримка каналів	16

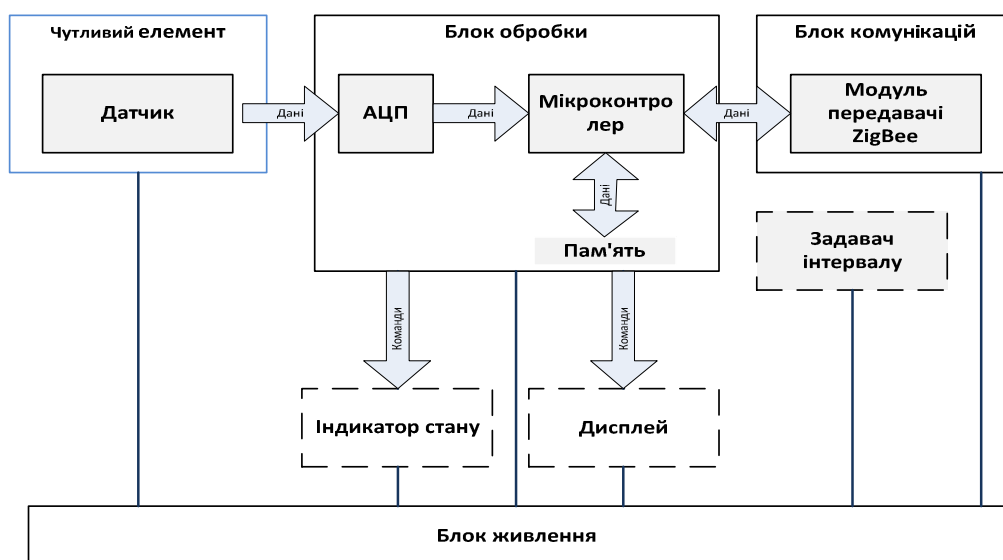


Рисунок 3 – Архітектура системи ZB

Варто відзначити, що амплітуда напруги порту мікроконтролера 5В. Модуль ZigBee працює на 3.3V. Тому був використаний регулятор для перетворення напруги на буфері. Буферні мікросхеми зазвичай використовуються для буферизації струму на сигнальних шинах. Однак, вони також можуть використовуватися для організації перетворення рівнів. Для цього необхідно використовувати спеціальне сімейство буферів (LowVoltage CMOS). Це сімейство розроблено для застосування в 3.3 В пристроях і має толерантні до 5 В входи. Для наших цілей можна використовувати, наприклад, мікросхему 74НС244А, яка являє собою 8 буферів, згрупованих у дві групи по 4 елементи: 74НС244А забезпечує не інвертований буфер з 3.3В виходами, який може приймати по входу як 3.3В, так і 5В сигнали. Для зменшення шумів і споживаної потужності всі неживані входи необхідно підключити до загального проводу. Подавши на керуючий вхід / OE логічну "1" можна перевести всі виходи в групі в Z стан, тим

самим ізолювавши 3.3В пристрій від 5В пристрою. Перевагами даної схеми є простота реалізації, надійність роботи і доступність компонентів. Недоліком можна вважати односпрямованість.

ZB також має три світло діода, щоб проілюструвати стан локального оповіщення. Випромінюючі діоди в трьох кольорах: червоний, жовтий і зелений. Кольори використовуються для позначення трьох різних рівнів. Червоний означає пацієнта в критичному стані; жовтий - пацієнт вимагає деякої уваги; зелений колір означає нормальний стан. Ці функції управляються мікроконтролером, який порівнює значення вхідного сигналу з встановленим нормальним діапазоном.

### Висновки

За допомогою розробленої системи віддаленого візуального моніторингу життєдіяльності організму, за рахунок впровадження системи бездротової технології ZigBee і Wi-Fi, є можливість поліпшення якості та своєчасності спостереження за пацієнтом, а саме за такими життєво важливими показниками стану організму людини (пульс, дихання, температура, кров'яний тиск), значення яких надходять в диспетчерську до блоку централізованого моніторингу. Розроблений та змодельований прототип системи демонструє можливість, придатність до використання в медичних закладах. В запропонованій статті були здійсненні перші кроки для побудови імітаційної моделі бездротової системи моніторингу за 5 показниками життєдіяльності пацієнтів, які знаходяться на лікуванні в стаціонарі, що дає можливість оповіщення про стан пацієнтів.

### Список літератури

1. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 25.11.2008 № 675 «Про затвердження галузевої програми «Електронна система реєстрації та обміну медичною інформацією між закладами, установами і організаціями системи охорони здоров'я»». – Режим доступу: [Http://www.uazakon.com/documents/date\\_32/pg\\_gnnfsk.htm](http://www.uazakon.com/documents/date_32/pg_gnnfsk.htm).

2. Свиридчук В.З. Використання інформаційних технологій, антропометрії та органометрії в практиці сімейного лікаря / В.З. Свиридчук, Ю.Й. Гумінський, А.В. Олійниченко, С.В. Степанова, В.Й. Шатило// Клиническая информатика и телемедицина. – 2005. –№1. – С.67-69.

Стаття надійшла: 10.04.2015.

### Відомості про авторів

**Іванець Ольга Борисівна** – к.т.н., доц., доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет.

**Кучеренко Валентина Леонідівна** – к.т.н., доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національний авіаційний університет.

**Булигіна Олена Вячеславівна** – к.т.н., доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національний авіаційний університет.

**Архирей Марина Володимирівна** – асистент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини, Національний авіаційний університет.